

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЗЕРНА

Е.Г. Мезенцева, О.Г. Кулеш, О.В. Симанков, О.А. Шедова

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Ячмень – важная зернофуражная культура разностороннего использования. Агро-климатические условия в Беларуси благоприятны для возделывания этой культуры, в связи с чем она получила широкое распространение. Посевные площади ярового ячменя в среднем по Республике Беларусь за последние пять лет составили 580 тыс. га, при 34 ц/га урожайности зерна [1]. В прошлые годы основное место в группе яровых зерновых культур занимал ячмень, возделываемый на продовольственные и фуражные цели. Из зерна ячменя производят различные виды круп, но основная масса полученного зерна используется на нужды животноводства в составе комбикормов для различных видов и групп животных и птицы [2]. Основной задачей в системе удобрения данной культуры являлось повышение урожайности и содержания белка в зерне. Сегодня по этим вопросам накоплен большой экспериментальный материал, имеется ряд современных рекомендаций по технологиям возделывания для специалистов хозяйств.

Качество продуктов растениеводства – понятие весьма многоплановое. Одно и то же растение в зависимости от целей использования оценивается по разным показателям качества. Наряду с продовольственным (значительно в меньшей мере) и фуражным назначением, ячмень используется в пивоваренной промышленности. Пивоваренный ячмень не является особенной культурой, а скорее, отличается технологией возделывания ярового ячменя, предназначенного для специфического целевого использования. К зерну пивоваренного ячменя предъявляются особые требования, отличающиеся от требований к фуражному или продовольственному. Технология возделывания пивоваренного ячменя отличается рядом особенностей, связанных, прежде всего, с задачей получения высококачественного сырья для целей пивоварения. При этом важное значение имеет уровень содержания белка в зерне.

Основное значение при возделывании ярового ячменя на те или иные цели приобретает технология возделывания культуры, и в частности – установление экологически безопасной, экономически обоснованной системы удобрения, позволяющей создать оптимальные условия для роста и развития растений, формирования высокой урожайности зерна с заданными характеристиками его качества с учётом уровня обеспеченности почвы питательными веществами.

Наиболее пригодными для возделывания ярового ячменя являются суглинистые почвы со слабокислой реакцией почвенного раствора (5,6–6,0 и выше), повышенным содержанием гумуса (не менее 1,8 %), подвижных соединений фос-

фора и калия – не менее 150 мг/кг почвы, благоприятными агрофизическими свойствами пахотного слоя [3]. В Беларуси около четверти площадей дерново-подзолистых суглинистых почв характеризуется избыточным (выше оптимальных показателей) содержанием подвижных соединений фосфора, около трети – калия [4]. Изучение специфики минерального питания зерновых культур, в том числе ярового ячменя на таких почвах является актуальным направлением исследований.

Цель исследований – установить агроэкономически обоснованные уровни применения минеральных удобрений, обеспечивающие высокую и устойчивую урожайность ярового ячменя, возделываемого на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия, для различного целевого назначения использования зерна.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стационарный технологический опыт заложен в трёх последовательно открывающихся полях в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном легком лессовидном суглинке в зернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: вико-рапсовая смесь (2012–2014 гг.) – кукуруза на зеленую массу (2013–2015 гг.) – яровая пшеница (2014–2016 гг.) – яровой ячмень (2015–2017 гг.).

В опыте предусматривалось применение различных доз и сочетаний минеральных удобрений на фоне последствия 60 т/га соломистого навоза (табл. 1). Органическое удобрение вносили осенью после уборки вико-рапсовой смеси. Минеральные удобрения в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия внесены весной под предпосевную культивацию, и, кроме того, карбамид вносили в подкормку в дозе N_{30} в стадию первого узла развития культуры.

Повторность вариантов в опыте четырёхкратная. Общая площадь делянки – 36 м² (6×6), учётная – 24 м² (4×6).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя: pH_{KCl} 6,00–6,29, содержание подвижных P_2O_5 – 650–750, K_2O – 400–500 мг/кг почвы, гумуса – 2,03–2,57 %.

Исследования проводили с пивоваренным яровым ячменём сорта Стратус, агротехника возделывания – общепринятая для Республики Беларусь, включающая интегрированную защиту растений от сорной растительности, вредителей и болезней [3].

Содержание белка в зерне ячменя определяли на инфракрасном спектрофотометре «Infraneo».

Так как зерно ячменя для продовольственных целей используется в значительно меньших объёмах, при расчёте экономической эффективности брали стоимость зерна для фуража. Экономическая эффективность рассчитана согласно методике определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений по И.М. Богдевич [5] по уровню цен на 2018 г.: стоимость 1 т зерна ярового ячменя на кормовые цели – 100 USD, пивоваренного – 160 USD; затраты на уборку и доработку 1 т зерна – 25 USD; стоимость минеральных удобрений с затратами на их внесение: 1 т д. в. азота – 466 USD,

фосфора – 913 USD, калия – 95 USD; затраты на приготовление и внесение на расстояние 5 км 1 т навоза КРС – 1,5 USD. Затраты на приготовление, доставку и внесение подстилочного навоза под ячмень – третью культуру севооборота (2-й год последствий) брали из расчета 10 % от общей суммы затрат.

Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова [6] с использованием программы MS Excel.

Метеорологические условия в период проведения исследований были в целом благоприятные для роста и развития ярового ячменя. Следует отметить, что в погодных условиях 2017 г. урожайность зерна в среднем по опыту оказалась на 20 % выше показателя предыдущего года исследований и на 15 % ниже показателя 2015 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки эффективности применяемых систем удобрения используют показатели агрономической и экономической эффективности. К основным показателям агрономической эффективности относят прибавку урожайности, окупаемость удобрений урожаем, а также качество товарной продукции.

Анализ данных урожайности ячменя показал, что в среднем за 3 года исследований за счет плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы сформировано 35 ц/га зерна (табл.1).

Таблица 1

Агрономическая эффективность систем удобрения при возделывании ярового ячменя (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га			Окупаемость, кг	
		к варианту без удобрений	от N	от РК	1 кг N	1 кг РК
Без удобрений	35,0	–	–	–	–	–
ПН* – Фон 1	39,1	4,1	–	–	–	–
Фон 1 + N ₆₀	51,1	16,1	12,0	–	20,0	–
Фон 1 + N ₆₀₊₃₀	56,6	21,6	17,5	–	19,4	–
Фон 1 + N ₉₀₊₃₀	58,7	23,7	19,6	–	16,3	–
ПН* + P ₂₀ K ₄₅ – Фон 2	42,0	7,0	–	2,9	–	4,5
Фон 2 + N ₆₀	55,1	20,1	13,1	–	21,8	–
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀	59,4	24,4	17,4	–	19,3	–
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀	63,6	28,6	21,6	–	18,0	–
ПН* + P ₄₀ K ₉₀ – Фон 3	42,8	7,8	–	3,7	–	2,8
Фон 3 + N ₆₀	55,6	20,6	12,8	–	21,3	–
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀	60,4	25,4	17,6	–	19,6	–
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀	62,5	27,5	19,7	–	16,4	–
НСР ₀₅	2,6	–	–	–	–	–

*ПН – последствие 60 т/га соломистого навоза (2-й год).

В зависимости от системы удобрения урожайность зерна по вариантам опыта варьировала в пределах от 39,1 до 63,6 ц/га.

За счет последействия 60 т/га соломистого навоза урожайность зерна увеличилась на 12 % относительно неудобренного варианта при окупаемости 1 т навоза 6,8 кг зерна ячменя.

Установлено, что наиболее эффективным агрономическим приёмом повышения продуктивности ярового ячменя является применение азотных удобрений – достоверная прибавка урожайности зерна отмечается на всех изучаемых фонах. Максимальные прибавки получены от применения дозы N_{90+30} , что в среднем по опыту составило 20,3 ц/га. При этом эффективность азотных удобрений была равноценной и не зависела от фона. За счёт фонового внесения доз фосфорных и калийных удобрений, рассчитанных на дефицитный баланс этих элементов ($P_{20}K_{45}$), дополнительно получено 2,9 ц/га зерна. Удвоение доз этих удобрений оказалось низкоэффективным приёмом – дополнительный сбор зерна по отношению к дозе $P_{20}K_{45}$ составил 0,8 ц/га, что статистически недостоверно. При этом каждый килограмм РК окупался 4,5 и 2,8 кг зерна соответственно. Наиболее эффективной системой удобрения ярового ячменя с агрономической точки зрения явилось комплексное применение $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ на фоне последействия 60 т/га соломистого навоза, которое обеспечило дополнительный сбор зерна 28,6 ц/га относительно неудобренного варианта.

Экономическая эффективность возделывания ярового ячменя в большей мере определяется направлением его использования. Одним из основных показателей качества зерна культуры, определяющих его целевое назначение (для пивоваренного, кормового или продовольственного использования), является содержание сырого белка, которое находится в прямой зависимости от уровня азотного питания. В наших исследованиях в зависимости от уровня урожайности зерна, доз азотных удобрений и фона, содержание белка в зерне ячменя по опыту варьировало от 10 до 13,8 % с максимальными показателями от применения N_{90+30} на органоминеральных фонах.

Известно, что для использования зерна ячменя на пивоваренные цели допустимое содержание сырого белка составляет 9,5–11,5 % при оптимальном показателе 10,5 %. Содержание белка менее 8 % нежелательно, так как определённый минимум белковых веществ необходим для питания дрожжей, образования стойкой пены, создания вкуса и букета пива [7].

Установлено, что зерно с таким целевым назначением получено на органическом и органоминеральных фонах с применением фосфорных и калийных удобрений, а также – на органоминеральных фонах с применением азотных удобрений в дозе N_{60} . Содержание сырого белка варьировало от 10,0 до 11,4 % при его сборе от 3,4 до 5,4 ц/га (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние систем удобрения на содержание сырого белка в зерне ярового ячменя
(в среднем за 2015–2017 гг.)**

Вариант	Сырой белок, % (на сухое вещество)	+/- к фону	Сбор сырого белка, ц/га
Без удобрений	9,9	–	3,0
ПН – Фон 1	10,0	–	3,4

Вариант	Сырой белок, % (на сухое вещество)	+/- к фону	Сбор сырого белка, ц/га
Фон 1 + N ₆₀	11,8	1,8	5,2
Фон 1 + N ₆₀₊₃₀	12,8	2,8	6,2
Фон 1 + N ₉₀₊₃₀	12,9	2,9	6,5
ПН + P ₂₀ K ₄₅ – Фон 2	10,0	–	3,6
Фон 2 + N ₆₀	11,3	1,3	5,3
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀	12,8	2,8	6,6
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀	13,7	3,7	7,5
ПН + P ₄₀ K ₉₀ – Фон 3	10,0	–	3,7
Фон 3 + N ₆₀	11,4	1,4	5,4
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀	13,0	2,0	6,8
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀	13,8	2,8	7,4
НСП ₀₅	0,8	–	–

Расчеты показали, что применение систем удобрения, позволяющих получать зерно ячменя пивоваренного назначения, экономически оправдано в основном за счёт повышенных цен на закупку зерна с низким содержанием белка.

Исключение азотных удобрений из системы удобрения обусловило невысокие прибавки урожайности зерна ячменя, что компенсировалось его высокой закупочной ценой. Прибыль при возделывании ячменя на фоне последействия соломистого навоза составила 46 USD/га при максимальной по опыту 241 % рентабельности. Однако, применение такой системы удобрения нежелательно с позиции сохранения плодородия почвы.

Известно, что фосфорные и калийные удобрения практически не оказывают положительного влияния на белковость зерна, а в отдельных случаях даже снижают его содержание [7]. В наших исследованиях применение доз фосфорных и калийных удобрений, рассчитанных на дефицитный (P₂₀K₄₅) и поддерживающий (P₄₀K₉₀) балансы этих элементов питания, не оказали влияния на направленность синтеза белка в зерне ячменя, что характерно для почвы с очень высоким содержанием этих элементов. Органоминеральная система удобрения, рассчитанная на дефицитный баланс фосфора и калия без внесения азотных удобрений, оказалась также экономически обоснованной. Уровень рентабельности достиг 128 % при 63 USD/га прибыли. Увеличение доз вносимых фосфора и калия (в расчёте на поддерживающий баланс элементов) обусловило, при более низком доходе, 70 % рентабельности (табл. 3).

Таблица 3

**Экономическая эффективность систем удобрения при возделывании
ярового ячменя разного целевого назначения**

Вариант	Стоимость продукции	Общие затраты	Прибыль	Рентабельность, %
	USD/га			
Пивоваренное назначение				
Последействие навоза, 60 т/га (ПН) – Фон	65	19	46	241

Вариант	Стоимость продукции	Общие затраты	Прибыль	Рентабельность, %
	USD/га			
P ₂₀ K ₄₅	112	49	63	128
P ₂₀ K ₄₅ + N ₆₀	322	110	212	193
P ₄₀ K ₉₀	125	74	51	70
P ₄₀ K ₉₀ + N ₆₀	330	134	196	147
Фуражное назначение				
ПН, 60 т/га (ПН) – фон	41	19	22	113
N ₆₀	161	77	84	109
N ₆₀₊₃₀	216	105	111	106
N ₉₀₊₃₀	237	124	113	91
P ₂₀ K ₄₅	70	49	21	43
P ₂₀ K ₄₅ + N ₆₀	201	110	91	83
P ₂₀ K ₄₅ + N ₆₀₊₃₀	245	135	110	81
P ₂₀ K ₄₅ + N ₉₀₊₃₀	286	159	127	80
P ₄₀ K ₉₀	78	74	4	6
P ₄₀ K ₉₀ + N ₆₀	156	134	22	54
P ₄₀ K ₉₀ + N ₆₀₊₃₀	254	160	94	59
P ₄₀ K ₉₀ + N ₉₀₊₃₀	273	179	94	54

Высокие дозы азота способствуют усилению синтеза белка в зерне ячменя. Однако, оптимальное азотное питание растений на начальных этапах его органогенеза, когда идет закладка генеративных органов, является важным элементом технологии возделывания зерновых культур [7]. В наших исследованиях применение N₆₀ на органоминеральных фонах, при существенном повышении урожайности культуры (на 30–31 %), обусловило допустимое его содержание в зерне ячменя на пивоваренные цели – 11,3–11,4 %. Прибыль при этом составила 196–212 USD/га при рентабельности на уровне 147–193 %.

Отмечено более существенное влияние дозы N₆₀ на органическом фоне на синтез белка в зерне ячменя. При такой системе удобрения содержание протеина в зерне составило 11,8 % – его использование рекомендуется на кормовые цели.

Изучаемые системы удобрения ярового ячменя могут быть применены и при возделывании его исключительно на фураж, в связи с чем расчет экономической эффективности представлен для всех применяемых систем удобрения, независимо от уровня содержания белка в зерне (табл. 3).

Для ячменя кормового назначения важным показателем качества является содержание белка в зерне, существенное влияние на синтез которого оказывает повышенное азотное питание. Известно, что эффективность азотных удобрений наиболее полно проявляется на хорошем фосфорном и калийном фоне [7]. В наших исследованиях применяемые фосфорные и калийные удобрения в целом не обусловили повышение эффективности азотных для синтеза белка, что, возможно, является следствием предполагаемого дисбаланса минерального питания почвы в связи с очень высоким содержанием в ней подвижных соединений фосфора и калия.

За счёт азотной подкормки растений в фазу первого узла культуры содержание сырого протеина в зерне ячменя увеличилось до 12,8–13,8 %. На органическом фоне содержание белка возросло на 2,8–2,9 %, а на органоминеральном с применением $P_{20}K_{45}$ – на 2,8–3,7 %, с применением $P_{40}K_{90}$ – на 3,0–3,8 %.

Оценка эффективности систем удобрения, обеспечивающих получение зерна ячменя фуражного назначения, показала, что все применяемые системы удобрения культуры экономически эффективны. Так, на органическом фоне, в зависимости от уровня азотного питания, прибыль составила 22–113 USD/га при 91–113 % рентабельности. На органоминеральных фонах с применением фосфорных и калийных удобрений, рассчитанных на дефицитный и поддерживающий балансы этих элементов, прибыль составила 21–127 и 4–94 USD/га при уровне рентабельности 43–83 и 6–59 % соответственно. Наилучший агроэкономический эффект получен от применения $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ на органическом фоне, где при урожайности зерна ячменя 63,6 ц/га с содержанием белка 13,7 % прибыль составила 127 USD/га при 80 % рентабельности.

ВЫВОДЫ

В полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия проведены исследования по установлению влияния различных систем удобрения на продуктивность и качество зерна ярового ячменя с дифференцированным подходом к расчёту их экономической эффективности с учётом целевого назначения зерна.

Установлено, что:

- применение органической, а также органоминеральных систем удобрения, рассчитанных на дефицитный и поддерживающий балансы фосфора и калия, в комплексе с N_{60} обеспечило формирование урожайности зерна ячменя на уровне 39,1–55,6 ц/га, с уровнем содержания белка, отвечающим требованиям пивоваренного назначения, и обусловило получение прибыли 46–212 USD/га при 70–241 % рентабельности. Наилучший агроэкономический эффект получен от применения $N_{60}P_{20}K_{45}$ на органическом фоне, где при урожайности зерна ячменя 55,1 ц/га с содержанием белка 11,3 % прибыль составила 212 USD/га при 193 % рентабельности;

- применение азотных удобрений в дозах N_{90-120} способствовало увеличению содержания белка в зерне ячменя до 12,8–13,8 % в зависимости от фона, обусловив фуражную направленность его использования. Система удобрения, включающая комплексное применение $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ на органическом фоне, обеспечила формирование 63,6 ц/га зерна с содержанием белка в нём на уровне 13,7 % с уровнем рентабельности 80 % и 127 USD/га прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белстат [Электронный ресурс] / Официальная статистика. Сельское и лесное хозяйство. – Минск, 2018. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika>. – Дата доступа 01.04.2018 г.
2. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур: монография / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – 276 с.

3. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отрасл. регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.
4. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016) / И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
5. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.]; РУП Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 24 с.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
7. Минеев В.Г. Удобрение и качество продукции / В.Г. Минеев. – М.: Знание, 1980. – 64 с.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF FERTILIZATION SYSTEMS OF SPRING BARLEY DEPENDING ON THE PURPOSE OF GRAIN

E.G. Mezentseva, O.G. Kulesh, O.V. Simankov, O.A. Shedova

Summary

Studies were conducted on sod-podzolic light loamy soil with a very high content of mobile compounds of phosphorus and potassium. The influence of various fertilizer systems on the productivity of spring barley with a differentiated approach to the calculation of their economic efficiency, taking into account the purpose of the grain is studied. The application of $N_{60}R_{20}K_{45}$ on an organic background ensures the formation of barley grain with a profit level of 212 USD/ha with a profitability of 193 % is established. Application of $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ on an organic background is provides forage grain formation with a profitability level of 80 % and 127 USD/ha profit.

Поступила 02.05.18